

## КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОДНОЧЕРВЯЧНЫХ МАШИНАХ

М.М. Григорьева, Д.Б. Горбунов, А.А. Татарников  
Кафедра автоматизации теплоэнергетических процессов  
Томский политехнический университет

Участник II Молодежной научно-технической конференции «Наукоемкие химические технологии 2007» секция № 5 «Полимеры и нанокompозиты на их основе – технологические принципы и методы синтеза, модификации и переработки»

**Р**азработана методика расчета временной характеристики одночервячной машины по каналу «питание – производительность» при переработке эластомерных материалов. Методика позволяет оценить фильтрующую способность напорной зоны.

В настоящее время принято считать, что канал червяка в процессе экструзии полностью заполнен перерабатываемым материалом. Однако, в работах Татарникова А.А., Буртелова Л.В., Горбунова Д.Б. показано, что при переработке на червячных машинах эластомерных материалов кроме зоны питания и напорной зоны имеет место так называемая буферная зона, расположенная между ними. Характерной особенностью буферной зоны является то, что она не полностью заполнена перерабатываемым материалом [1]. Косвенным подтверждением наличия буферной зоны является независимость производительности червячной машины от противодействия со стороны формующего инструмента. Этот факт

подтвержден целым рядом экспериментальных исследований. Прямой эксперимент, проведенный американским ученым Р. Брозовски при переработке резиновых смесей показал, что часть канала червяка между зоной питания и напорной зоной действительно заполнена не полностью, а перерабатываемый материал в ней движется отдельными сегментами разного размера [2]. Эксперименты, проведенные Горбуновым с применением модельной среды, в качестве которой использовалось тесто, также подтвердил наличие буферной зоны. На рис. 1 видно, что канал червяка действительно не полностью заполнен перерабатываемым материалом.



Рис. 1. Заполнение канала червяка перерабатываемым материалом.

Следовательно, видно, что питание напорной зоны происходит дискретно. Это приводит к тому, что производительность червячной машины претерпевает колебания во времени, которые сглаживаются напорной зоной за счет изменения ее длины. Исходя из перечисленных фактов, можно утверждать, что в действительности червячная машина работает не в стационарном, а в квазистационарном режиме [3]. При этом напорная зона является своеобразным фильтром, который сглаживает высокочастотные составляющие изменения производительности со стороны буферной зоны или зоны питания.

Для оценки неравномерности производительности червячной машины, необходимо оценить фильтрующую способность напорной зоны. Для практики этот вопрос имеет большое значение, так как колебания производительности отрицательно сказываются на качестве резинотехнических изделий, особенно остро эта проблема стоит в кабельной и шинной промышленности.

В литературе оценка фильтрующей способности напорной зоны проводится экспериментально, путем снятия временных характеристик, определяющих изменение производительности червячной машины во

времени. Однако такой метод позволяет определить динамические характеристики только испытываемой червячной машины. Поэтому для проведения комплексных исследований, выявляющих зависимость динамических характеристик червячной машины от различных влияющих величин, необходимо провести большое количество экспериментов. Для практики представляет большой интерес определение динамических характеристик червячной машины аналитическим путем в зависимости от конструктивных параметров нарезки червяка, гидравлического сопротивления формующего инструмента, реологических свойств перерабатываемого материала и т.д. Экспериментальные исследования такого

рода требуют больших материальных затрат. На кафедре автоматизации теплоэнергетических процессов Томского политехнического университета были проведены эксперименты по снятию временной характеристики на лабораторной установке с постоянной глубиной нарезки червяка. В качестве перерабатываемого материала использовалась модельная среда. Экспериментальные точки полученной временной характеристики приведены на рис. 2. Подобные же эксперименты проведены на Томском нефтехимическом комбинате на лабораторном экструдере PL V151 фирмы «BRABENDER» с использованием конического червяка при переработке резиновой смеси.

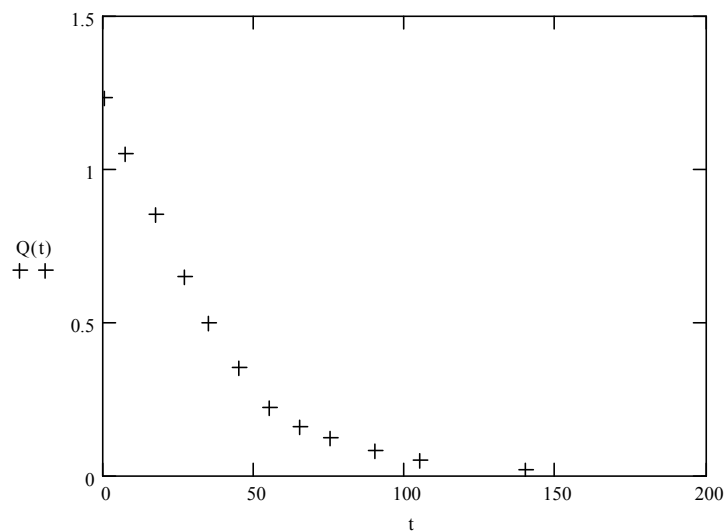


Рис. 2. Экспериментально полученная объемная производительность одночервячной машины в переходном режиме при прекращении питания напорной зоны.

Разработана методика, которая позволяет аппроксимировать экспериментальные точки, полученных временных характеристик. Показано, что они могут быть описаны уравнением аperiодического звена первого порядка с запаздыванием [4]. Передаточная функция такого звена описывается уравнением (1), в котором постоянная времени  $T$  характеризует фильтрующую способность напорной зоны.

$$W(p) = \frac{K}{(T \cdot p + 1)} \cdot e^{-p \cdot \tau}. \quad (1)$$

Пошаговая методика аналитического расчета динамических характеристик одночервячной машины состоит в следующем. На первом этапе задаются исходные данные: конструктивные размеры червяка, реологические характеристики перерабатываемого материала, характеристика формующего инструмента, частота вращения червяка, заданное значение производительности экструдера.

Далее последовательно вычисляются координаты точек переходного процесса, которые определяются при постепенном уменьшении производительности одночервячной машины на величину  $\Delta q$ . Эта величина выбирается из условия, что на интервале между двумя соседними точками переходной характеристики производительность можно считать изменяющейся линейно. В этом случае можно определить скорость изменения длины напорной зоны на каждом интервале между двумя соседними точками переходного процесса, а, следовательно, и время, за которое это изменение произойдет. Расчет точек переходного процесса продолжается до тех пор, пока значение производительности не станет равным нулю [5].

Экспериментальные точки и аналитически полученный переходный процесс производительности одночервячной машины при нанесении положительного возмущения питанием

изображены на рис. 3. Проведена оценка качества аппроксимации экспериментальных

точек аналитической зависимостью. Среднее значение погрешности составило 6%.

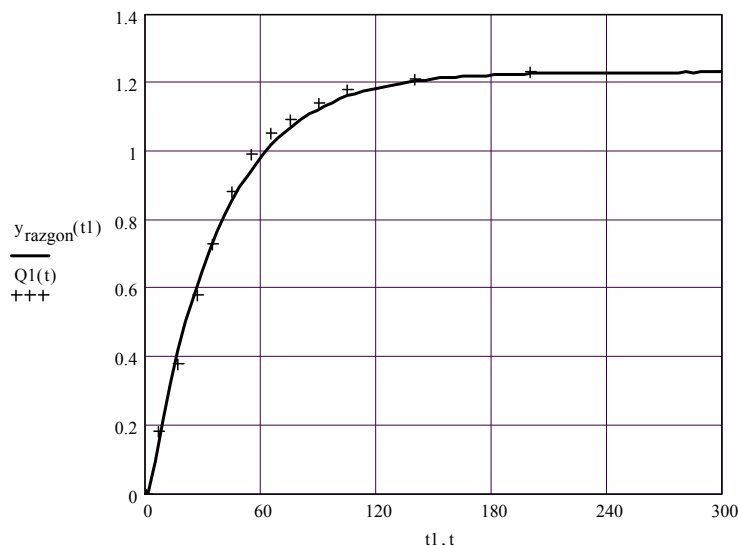


Рис. 3. Переходный процесс производительности одночервячной машины при нанесении положительного возмущения питанием: 1 — аппроксимирующая кривая; +++ — экспериментальные точки.

Методика позволяет аналитически, не проводя экспериментов, оценить фильтрующую способность напорной зоны и стабильность работы червячной машины по производительности.

Для качественной аппроксимации переходной характеристики необходимо при приближении к заданному значению производительности существенно уменьшать шаг аппроксимации  $\Delta q$  по сравнению с начальным участком. То есть при аппроксимации каждой переходной характеристики необходимо на каждом участке кривой решать проблему

выбора величины шага аппроксимации. Однако для количественной оценки фильтрующей способности напорной зоны нет необходимости рассчитывать всю переходную характеристику, поскольку фильтрующая способность характеризуется постоянной времени  $T$ , которая определяется в точке, соответствующей  $\Delta q = 0.632 \cdot q_{\text{зад}}$ . На рис. 4 показано определение постоянной времени  $T$  в этой точке.

С применением этой методики проведен анализ влияния геометрических размеров канала червяка на постоянную времени  $T$ . Результаты анализа представлены на рис. 5.

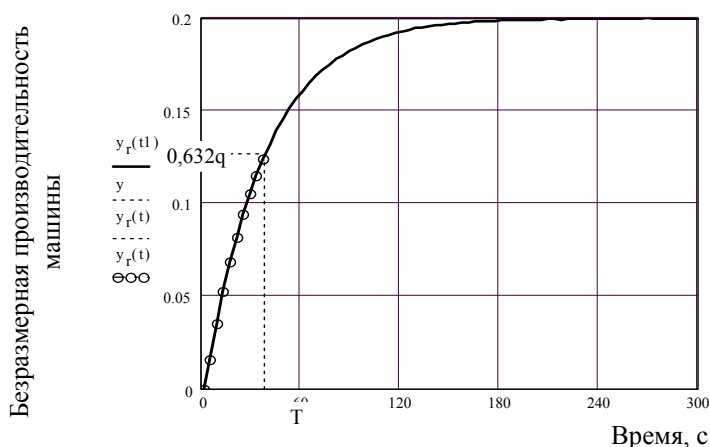


Рис. 4. Определение постоянной времени  $T$  по временной характеристике.

На рис. 5 а показано влияние отношения глубины нарезки червяка к диаметру червяка на вид переходной характеристики.

На рис. 5 б показано влияние отношения ширины винтового канала к диаметру червяка на вид переходной характеристики.

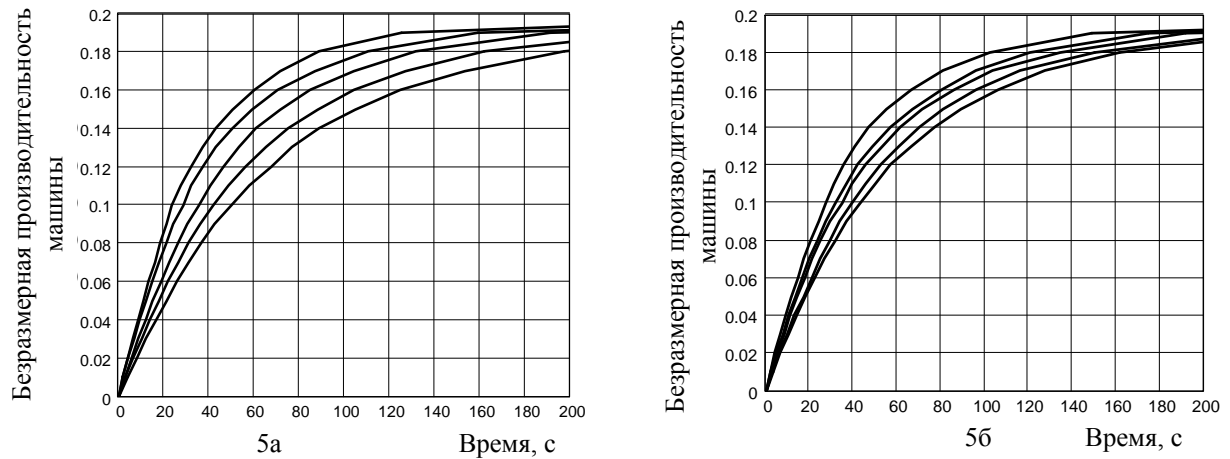


Рис. 5. Переходные характеристики червячных машин

На рис. 6 а видно, что постоянная времени линейно возрастает с увеличением отношения ширины винтового канала к диаметру червяка.

Однако зависимость постоянной времени от отношения глубины нарезки к диаметру червяка является квадратичной (рис. 6 б).

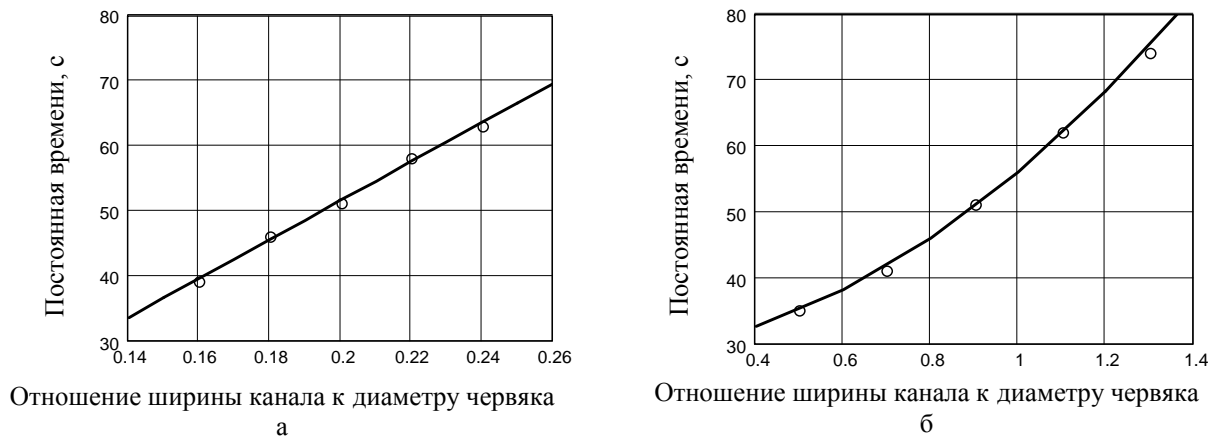


Рис. 6. Влияние геометрических размеров червяка на постоянную времени.

В дальнейшем работа будет продолжена в направлении определения влияния частоты вращения червяка, реологических характеристик перерабатываемого материала,

характеристики формирующего инструмента и распределения температур по зонам охлаждения на фильтрующую способность напорной зоны.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Татарников, А. А. Принципиальные отличия процесса переработки резиновой смеси от переработки расплава на одночервячных машинах / А. А. Татарников, Л. В. Буртелов // Каучук и резина. – 2002. – № 5. – С. 29–31.
2. Brzoskowski, R. Experimental study of the flow characteristics of rubber compounding extruder screws / R.Brzoskowski [et al.] // Rubber. Chem. and Technol. – 1986. – Vol. 59, № 4. – P. 634–650.
3. Григорьева, М. М. Квазистационарный режим процесса экструзии эластомерных материалов на одночервячных машинах / М. М. Григорьева, Д. Б. Горбунов, А. А. Татарников // Наукоемкие химические технологии : докл. II Молодежной научно-техн. конф., М., 16–18 окт. 2007. – М., 2007. – С. 5.
4. Горбунов, Д. Б. Временные характеристики одночервячной машины / Д. Б. Горбунов, Л. В. Буртелов, А. А. Татарников // Современная техника и технологии : Труды XII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Т.1, Томск, 27–31 марта 2006. – Томск, 2006. – С. 248–250.
5. Татарников, А. А. Аналитический расчет динамических характеристик одночервячной машины с коническим каналом червяка при переработке резиновой смеси / А. А. Татарников, Д. Б. Горбунов // Известия ТПУ. – 2006. – № 5 – С. 141.